

## **Дослідження нової концепції побудови динамічної архітектури проблемно-орієнтованого програмного забезпечення в грід-хмарному середовищі з елементами постбінарних обчислень.**

**Підтема:** Розробка методики побудови архітектури проблемно-орієнтованого програмного забезпечення на базі об'єднання веб, грід і хмарних сервісів.

Исследование новой концепции построения динамической архитектуры проблемно-ориентированного программного обеспечения в грид-облачной среде с элементами постбинарных вычислений.

**Подтема:** Разработка методики построения архитектуры проблемно-ориентированного программного обеспечения на базе объединения интернет, грид и облачных сервисов.

Investigating the new concept of building a dynamic problem-oriented software architecture in Grid-Cloud environment with elements postbinary computing.

**Topic:** Methodology development of problem-oriented software architecture building by combining web-based, grid and cloud services.

**1. Номер державної реєстрації теми 0114U003449,**

**2. Науковий керівник -** д.т.н., проф. Петренко А.І., Петренко А.И., Petrenko Anatoly I.

**3. Суть розробки, основні результати (укр.)**

Створено нову методологію побудови розподіленої архітектури проблемно-орієнтованого програмного забезпечення для вирішення науково-технічних задач високої складності. На відміну від існуючих підходів, вона дозволяє динамічно синтезувати прикладне програмне забезпечення з наявних у мережі програмних засобів, доступних через інтерфейс веб-сервісів (як SOAP-сервісів, так і REST-сервісів), та залученням високопродуктивних обчислювальних ресурсів як грід-мережі, так і з хмарних інфраструктур, відповідно до конкретних задач та вимог кінцевого користувача, що не є фахівцем з інформаційних технологій.

Розроблено засоби для інтегрування різнотипних високопродуктивних ресурсів до програмної архітектури у формі “сервісів-шлюзів” виконання обчислень, які приховують низько рівневі деталі взаємодії з конкретною хмарною та грід-інфраструктурою.

Запропоновано та обґрунтовано децентралізовану модель “екосистеми” прикладних та службових мікросервісів-агентів, що складають основу динамічної розподіленої архітектури з низьким рівнем зв'язності компонентів. Мікросервіси-агенти взаємодіють між собою задля вирішення поставлених задач за допомогою обміну уніфікованими повідомленнями на основі бази знань про свою “екосистему”, формуючи динамічні потоки робіт на запит користувача.

Створено репозитарій сервісів обчислювальних процедур для моделювання складних систем. Розроблено та реалізовано метод постановки на виконання обчислювальних задач з використанням стеку технологій семантичного веб, що, на відміну від існуючих підходів, дозволяє формулювати кінцеву мету обчислень та уточнювати способи її досягнення користувачу, що не має навичок програміста. Конкретний робочий потік з веб-сервісів, які будуть залучені до реалізації обчислювального сценарію, вибудовується автоматично та здатен динамічно адаптуватися відповідно до змін в мікросервісній екосистемі. Результати досліджень втілено у практичній реалізації компонентів програмного комплексу прикладних обчислень.

(рос.)

Создана новая методология построения распределенной архитектуры проблемно-ориентированного программного обеспечения для решения научно-технических задач высокой сложности. В отличие от существующих подходов она позволяет динамически синтезировать прикладное программное обеспечение из имеющихся в сети программных модулей. Доступ к ним осуществляется через интерфейс веб-сервисов (как SOAP-сервисов, так и REST-сервисов) с использованием высокопроизводительных вычислительных ресурсов как грид-сети, так и с облачных инфраструктур, в соответствии с конкретными задачами и требованиями конечного пользователя, который не является специалистом по информационным технологиям.

Разработаны средства для интеграции разнотипных высокопроизводительных ресурсов в программную архитектуру в форме "сервис-шлюзов" выполнения вычислений, которые скрывают низкоуровневые детали взаимодействия с конкретной облачной и грид-инфраструктурой.

Предложено и обосновано децентрализованную модель "экосистемы" прикладных и служебных микросервисов-агентов, составляющих основу динамической распределенной архитектуры с низким уровнем связности компонентов. Микросервисы-агенты взаимодействуют между собой для решения поставленных задач с помощью обмена унифицированными сообщениями на основе базы знаний о своей "экосистеме", формируя динамические потоки работ на запрос пользователя.

Создан репозиторий сервисов вычислительных процедур для моделирования сложных систем. Разработан и реализован метод постановки на выполнение вычислительных задач с использованием стека технологий семантического веб, что, в отличие от существующих подходов, позволяет формулировать конечную цель вычислений и уточнять способы ее достижения пользователю, не имеющему навыков программиста. Конкретный рабочий поток с веб-сервисов, которые будут привлечены к реализации вычислительного сценария, строится автоматически и способен динамически адаптироваться в соответствии с изменениями в микросервисной экосистеме. Результаты исследований воплощены в практической реализации компонентов программного комплекса прикладных вычислений.

(анг.)

A new methodology of distributed problem-oriented software architecture is developed for solving scientific and engineering problems of high complexity. Unlike existing approaches, it allows you to dynamically synthesize application software from available network software modules via Web-services interfaces (both for SOAP-services and REST-services) and utilizing high-performance computing resources both grid network and cloud infrastructures to meet specific tasks and requirements of the end user, who is not a specialist in information technology.

Tools for integrating different types of resources in high-performance software architecture were developed in the form of "gateway services" perform for calculations that hide the low-level details of interaction with a particular cloud and grid infrastructure.

The decentralized model of applied and generic microservices-agents "ecosystem" is proposed which forms the basis of dynamic distributed architecture with low components connectivity. Microservices -agents interact with each other to solve the problems through the exchange of standardized messages based on the knowledge base of their "ecosystem", creating dynamic workflows on user request.

A repository of computational services for complex systems modelling is built. The method for setting performance computing tasks using semantic web technology is developed and implemented, which, in contrast to existing approaches, allows to formulate the ultimate goal of computing and to refine ways to achieve it for an user who does not have the skills programmer. Specific workflow of Web services that will be involved in a particular computing scenario realization is built automatically and is able to dynamically adjust according to changes in

microservices ecosystem. The research results are implemented in practical development of the complex computing applications.

#### **4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності**

Не заплановано.

#### **5. Порівняння зі світовими аналогами**

Розробка відповідає світовому рівню. Досягнуті результати досліджень дозволяють підвищити ефективність використання високопродуктивних обчислювальних ресурсів у прикладних дослідженнях та суттєво спростити розширення функціоналу міждисциплінарних програмних обчислювальних комплексів, а також заощадити на їх підтримці та подовжити життєвий цикл такого програмного забезпечення. Винайдено нову концепцію побудови планувальника потоку робіт (workflows), що вперше дає можливість оркеструвати процедурно-орієнтовані та ресурсно-орієнтовані веб-сервіси з допомогою стандартизованих WS-BPEL двигунів із залученням семантичних технологій. Впровадження результатів роботи та нарощення репозитарію прикладних сервісів, зокрема, планується в області проектування електромеханічних систем та МЕМС, але не обмежується цими напрямками.

#### **6. Економічна привабливість для просування на ринок**

Застосування розроблених технологій та обладнання дозволяє значно знизити собівартість та підвищити якість прикладного програмного забезпечення за рахунок:

- підвищення на 50–80% коефіцієнта повторного використання програмних модулів з репозитарію сервісів;
- підвищення на 50–70% продуктивності процесів розроблення необхідних прикладних додатків;
- підвищення (на 30–40%) участі користувачів в розробленні прикладних додатків;
- зменшення часу (на 30–50%) виведення створеної продукції на ринок.

#### **7. Потенційні користувачі (галузі, міністерства, підприємства, організації)**

Вперше створено таку методику побудови інтегрованих обчислювально-інформаційних сервісів та новітнього інструментарію їх реалізації на базі об'єднання веб, грід і хмарних технологій, а також технологій семантичного веб, яка дозволяє реалізувати відкриту динамічну архітектуру з використанням різноманітних функціональних модулів. Інтегровані сервіси, що взаємодіють по мережі в певній послідовності, яка автоматизовано будується відповідно до кінцевої мети користувача, дають можливість користувачам ефективно реалізувати той або інший обчислювальний процес. Представлення програмних та інших компонентів як сервісів із стандартними інтерфейсами забезпечує їх багаторазове використання і для формування нових застосувань, і для розширення можливостей вже існуючих.

Користувачами розроблених засобів може бути широке коло промислових, науково-дослідних та учбових установ, а також віртуальних організацій і окремих користувачів, які зацікавлені у використанні високопродуктивних обчислювальних ресурсів у прикладних дослідженнях.

#### **8. Стан готовності розробки**

Досліджено концепцію розроблення систем сервісів на базі онтології предметних галузей, а саме: раціональний вибір архітектури систем сервісів, їх моделей, підвищення ефективності методів композицій веб-сервісів в рамках бізнес-процесів, доступні і прозорі системи організації раціонального вибору веб-сервісів з їх репозитаріїв при реалізації систем сервісів різного призначення, можливості інженерного забезпечення процесів створення та підтримки систем сервісів.

#### **9. Існуючі результати впровадження**

Методи, алгоритми та програмні модулі, що їх реалізують, інтегровано до складу навчальної системи розподіленого комп'ютерного моделювання в грид/хмарній інфраструктурі з прикладами моделювання з галузі електроніки та механіки. Підготовлена нова профільююча дисципліна **“Основи сервіс-орієнтованих обчислень і архітектур”** магістерської підготовки і для неї розроблено лабораторний цикл з 4-х робіт (“Розробка REST та SOAP інтерфейсів”, “Компонування веб-сервісів”, “Реєстрація веб-сервісів”, “Запуск та оркестрування інженерних RESTful сервісів”). Також оновлено розділ “Веб-моделювання складних систем” дисципліни “Моделювання систем”. Підготовлений та виданий навчальний посібник «Прикладне програмування як оркестрування сервісів».

#### **10. Форма участі інвестора**

Визначення і створення можливих інваріантних сервісів для систем, що **фокусуються на людській діяльності** (електричні мережі, системи водопостачання; транспортні системи; система охорони здоров'я; система освіти; банківсько-фінансові системи; системи роздрібною торгівлі; системи туризму, медіа та розваг тощо.). Це дозволило б створити **репозитарій міждисциплінарних інваріантних сервісів** як будівельних блоків відповідних систем сервісів.

Частка інвестора в проєкті - 50%, частка від прибутку - 50%.

#### **11. Обсяг інвестицій**

35,0 тис. доларів США на два роки.

#### **12. Мета інвестицій**

Розширення бізнесу через Науковий парк «Київська політехніка» або створення нового підприємства, що буде грати роль каталізатора для робіт з інвентаризації корпоративних ІТ-архітектур та опису бізнес-процесів, з переробки більшості наявних на ринку програмних продуктів на сервіс-орієнтовану основу.

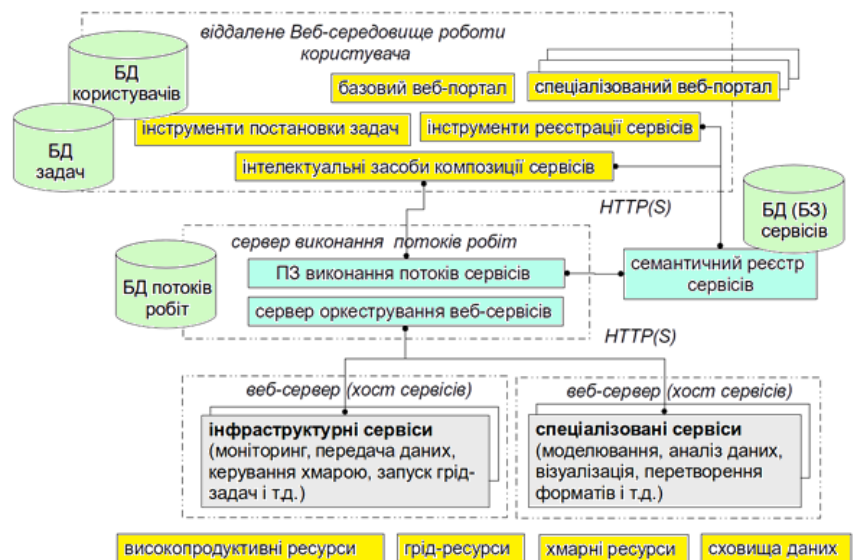
Зростання значущості сервісів означають, що сервісні інновації тепер є головним завданням практиків у сфері бізнесу і державних органів влади, а також вчених та інженерів в області наукових досліджень і освіти.

Їх спільні зусилля повинні бути спрямовані на забезпечення зростання індустрії сервісів в Україні, при цьому інженерна підтримка процесу розробки і експлуатації систем сервісів стане однією з умов досягнення успіху.

#### **13. Назва підрозділу, телефон, E-mail**

Інститут прикладного системного аналізу (ІПСА), кафедра системного проєктування, (044) 280-90-46, [petrenko@cad.kiev.ua](mailto:petrenko@cad.kiev.ua)

#### **14. Слайд з презентації результатів проєкту: SOC обчислювальна платформа**



## 15. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання розробки

### *Монографії, підручники і посібники*

1. Петренко А.І., Булах Б.В. **Прикладне програмування як оркестрування сервісів** // ІПСА-КПІ, 2016, 150 с.
2. Gaidas GIEDRIMAS, Leonidas SAKALAUSKAS, Anatoly PETRENKO. **Distributed Software Development Tools for Distributed Scientific Applications**. In book “Parallel and Distributed Computing”, ISBN 978-953-51-5255-2, INTech.

### *Наукові статті:*

#### *Статті у журналах, що входять до наукометричних баз даних*

1. Petrenko A.I. **Collaborative Complex Computing environment (Com-Com)** // Journal of Computer Science & Systems Biology, CA 94404, USA, Biol 8, August 2015. – vol.8(5). – 2015. - pp. 278-284. (<http://www.omicsonline.org/open-access/collaborative-complex-computing-environment-comcom-jcsb-1000201.pdf>)
2. Petrenko A.I. **Service-oriented computing (SOC) in Engineering Design** // Journal of Computer Science and Applications, USA, South El Monte, CA 91733, USA. - Volume 1, Number 6. – 2014. - pp. 349-358. (<http://www.ethanpublishing.com/index.php?m=content&c=index&a=show&catid=176&id=309> )
3. Petrenko A.I. **Mobile health applications to support the diabetic patient and the doctor.-** [http://www.ieee.org/](http://www.ieee.org/search/DOI:10.1109/EWDTS.2014.7027105) search [DOI:10.1109/EWDTS.2014.7027105](http://www.ieee.org/search/DOI:10.1109/EWDTS.2014.7027105)
4. Petrenko A.I. **Service-oriented computing (SOC) in Engineering Practice.-** [http://www.krput.edu.pl/files/swrutu/prof\\_petrenko/EWTD-13.pdf](http://www.krput.edu.pl/files/swrutu/prof_petrenko/EWTD-13.pdf)
5. Булах Б.В. Підхід до компонування rest-сервісів для виконання інженерних обчислень / Булах Б.В., Яременко В.С. // Міжнародний науковий журнал “ScienceRise” . – X.: “Технологический Центр” – 2015. – т.7, №2 (12). – С. 9-14. <http://journals.uran.ua/sciencerise/article/download/46366/43564>
6. Mikhail Kompaniets. **Integration of XRootD into the cloud infrastructure for ALICE data analysis** / Mikhail Kompaniets, Oksana Shadura, Pavlo Svirin, Volodymyr Yurchenko and Andrey Zarochentsev. // Journal of Physics: Conference Series, Volume 664, Clouds and Virtualization, pp.22036-22043, 2015.
7. G Amadio. **Electromagnetic Physics Models for Parallel Computing Architectures** / A Ananya, J Apostolakis, A Aurora, M Bandieramonte, A Bhattacharyya, C Bianchini, R Brun, P Canal, F Carminati, O Shadura, S Vallecorsa, S Wenzel, // Journal of Physics: Conference Series, Volume 762, Advanced Computing and Analysis Techniques in Physics Research, 012014, 2016.

#### *Публікації в матеріалах конференцій, що входять до наукометричних баз даних*

1. Petrenko A.I. **Virtual Research Environment “Optimal Engineering Design as a Service”** // Proc. EGI Community Forum 2014 – Helsinki, May 2014 [http://cad.kpi.ua/attachments/043\\_2014\\_00\\_p.pdf](http://cad.kpi.ua/attachments/043_2014_00_p.pdf)
2. A.Petrenko, B. Bulakh, et al. **Simulation in GridALLTED Complex** // Proc.of CADSM 2014, 19-23 February, 2014, Polyana-Svalyava (Zakarpattia), UKRAINE. <http://toc.proceedings.com/18542webtoc.pdf>
3. Petrenko A.I., Roenko N.V **Personal healthcare platform for chronic diseases with mobile self-management support** -// The 4-th International Virtual Conference on Advanced Scientific Results, Slovakia, 6-10 June, 2016, [www.scieconf.com](http://www.scieconf.com)
4. Apostolakis J. **The GeantV project: preparing the future of simulation** / Apostolakis J., Bandieramonte M., Bitzes G., Brun R., Canal P., Shadura O. // Journal of Physics: Conference Series, 664 (2015), 072006.

5. Apostolakis J. **First experience of vectorizing electromagnetic physics models for detector simulation** / Apostolakis J., Bandieramonte M., Bitzes G., Brun R., Canal P., Shadura O. // Journal of Physics: Conference Series, 644 (2015), 092013.

6. Petrenko A.I. **Virtual Research Environment "Optimal Engineering Design as a Service Ecosystem"** // Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «Modern Science Problems (May 18, 2016, Kiev, Ukraine)» <http://webofscholar.com/archive/52.pdf>

***Публікації у журналах, що включені до переліку наукових фахових видань України***

1. Згуровський М.З., Петренко А.И. **Становление и горизонты цифровой науки.** // Системні дослідження і інформаційні технології.-Київ, №4, 2014.

2. Згуровський М.З., Петренко А.И. **Цифровая наука в программе Горизонт-2020.** // Системні дослідження і інформаційні технології.-Київ, №1, 2015.

3. Булах Б.В. **Scientific and Engineering Workflows Based on Grid Services Orchestration** // «Humbolt Kolleg: The Education and Science and their Role in Social and Industrial Progress of Society», 12-15 червня 2014.

4. Петренко І.А., Петренко О.О. **Автоматизовані методи пошуку і відкриття необхідних сервісів.** // Вісник Університету «Україна», Серія «Інформатика, обчислювальна техніка та кібернетика», №1(17), 2015, С. 55-64.

5. Петренко О.О., Петренко А.А. **Підготовка кадрів для індустрії сервісів** // Information Technologies in Education.-№ 22.2015.- pp.158-164. <http://ekhsuir.kspu.edu/handle/123456789/1805>

6. Чкалов О., Булах Б., Безносик О., Мацулевич О. **Особливості формування маршрутів проектування в системі GridAllted** // Вісник Національного університету «Львівська політехніка», серія «Комп'ютерні науки та інформаційні технології». - №771. - Львів, 2014. - с. 77-84.

7. Petrenko I.A., Petrenko A.I. **Optimization and simulation of complex non-linear systems and circuits as the composition of cloud services** // Journal "International Scientific and Practical Conference "WORLD SCIENCE" ("Modern Scientific Achievements and Their Practical Application"), 2015.

8. Petrenko A.I., Petrenko A.A. **A loosely-integrated suite of services for mhealth formed by wireless sensor networks.** // The 1-th IEEE International Conference on Data Stream Mining & Processing, 23-27 August 2016, Lviv, Ukraine.

9. Кисельов Г.Д., Петренко О.О **Наука про сервіси, менеджмент та інжиніринг як основа інноваційної діяльності** // Вісник Університету «Україна», Серія «Інформатика, обчислювальна техніка та кібернетика», №2(18), 2015, стр.28-36.

10. Петренко О.О., Петренко А.И. **Моделирование архитектуры системы сервисов.** // Міжнародна науково-технічна конференція «Моделирование-2016», м. Київ (Україна), травень 2016.

11. Петренко А.А., Петренко А.И. **Семантическое модельно-управляемое моделирование архитектуры системы сервисов** //Электронное моделирование, №5, 2016, стр.43-60. <http://www.emodel.org.ua/index.php/ru/54-archive/2016-%D1%80%D1%96%D0%BA/38-5/937-38-5-5.html>

***Публікації у матеріалах конференцій, тезах доповідей та виданнях, що не включені до переліку наукових фахових видань України***

1. Булах Б.В. **Програмне забезпечення для науки та інженерії як "екосистема" сервісів** // Системний аналіз та інформаційні технології: матеріали 16-ї міжнародної науково-технічної конференції «САІТ-2014», 26-30 травня 2014, Київ. – К. : ННК "ІПСА" НТУУ "КПІ". – 2014.

2. Неупокоев М.О., Булах Б.В. **Workflow-системы для решения научных задач** //Системный анализ и информационные технологии: материалы 16-й международной научно-технической конференции «САІТ-2014», 26-30 мая 2014, Киев. – К. : УНК "ІПСА" НТУУ "КПІ", – 2014.

3. Петренко А.И. **Сервісно-орієнтоване дослідницьке середовище з складних обчислень.** // матеріали 17-ї Міжнародної науково-технічної конференції SAIT 2015, Київ, червень 2015р. – К.: ННК "ІПСА" НТУУ "КПІ", 2015. – с.196-198.



4. Булах Б.В., Крамар О.В. **Семантична інтеграція ґрид та хмарних ресурсів до складу комплексів інженерних обчислень.** / Системний аналіз та інформаційні технології: матеріали 17-ї Міжнародної науково-технічної конференції SAIT 2015, Київ, червень 2015р. – К.: ННК “ІПСА” НТУУ “КПІ”, 2015. – с. 185.
5. Ковтун О.О. **Організація хмарних інженерних сервісно-орієнтованих обчислень (SOC) на базі пакету ALLTED.** // Системний аналіз та інформаційні технології: матеріали 17-ї Міжнародної науково-технічної конференції SAIT 2015, Київ, червень 2015 р. – К.: ННК “ІПСА” НТУУ “КПІ”, 2015. – с. 194.
6. Вініченко А.М. **Семантичні композитні веб-додатки в наукових дослідженнях.** //Системний аналіз та інформаційні технології: матеріали 17-ї Міжнародної науково-технічної конференції SAIT 2015, Київ, червень 2015р. – К.: ННК “ІПСА” НТУУ “КПІ”, 2015. – с. 148.
7. Яременко В.С. **Modelling of semantic Web applications based on annotated REST Webservices.** // Системний аналіз та інформаційні технології: матеріали 17-ї Міжнародної науково-технічної конференції SAIT 2015, Київ, червень 2015 р. – К.: ННК “ІПСА” НТУУ “КПІ”, 2015. – с. 217.

***Теми захищених та поданих до розгляду у спеціалізовану вчену раду дисертацій***

1. Захищено дисертацію Свіріна П.В. „**Методи побудови брокерів для децентралізованих ґрид-середовищ із застосуванням додаткових інформаційних джерел**” на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, 9 квітня 2014р.
2. Підготовлено дисертацію Шадури О.В. “**Оптимізація та налаштування програми високопродуктивних обчислень за допомогою сервісів генетичних алгоритмів і багатфакторного аналізу**” на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук згідно *CERN Doctoral Student Program* (Європейського центру ядерних досліджень) під спільним керівництвом проф. Петренка А.І. (КПІ) і д-ра Федеріко Кармінаті (Federico Carminati, CERN), захист в 2017р.
3. Підготовлено дисертацію Чкалова О.В. “**Оптимізація обчислювальних моделей мікроелектромеханічних систем на базі СОА**” на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук, докторанта 3-го року навчання.

**Участь у 3-х виставках-презентаціях «Наука – виробництву»** установ НАН України в рамках Всеукраїнського фестивалю науки (2014 – 2016р.р.) та нагородження дипломами за активну участь у виставках та сприяння розвитку науки.

**16. Ключові слова до розробки:** ХМАРНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ВЕБ-СЕРВІС, ГРІД-СЕРВІС, ДИНАМІЧНА АРХІТЕКТУРА, СЕРВІС-ОРІЄТОВАНА АРХІТЕКТУРА, ОРКЕСТРУВАННЯ, СУПЕРКОМП'ЮТЕР, ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ СЕРВІСІВ, ІНТЕРНЕТ, ІНЖЕНЕРІЯ СЕРВІСІВ, ПОТОКИ ЗАВДАНЬ, СЕРВІСНІ ОНТОЛОГІЇ.